SOPRA

I RAGGI DEL RÖNTGEN

RICERCHE SPERIMENTALI

DI

A. BATTELLI E A. GARBASSO

Estratto dal *Nuovo Cimento*, Serie 4. Vol. III.
Fascicolo di Gennaio 1896

PISA
DALLA TIPOGRAFIA PIERACCINI

1896

SOPRA I RAGGI DEL RÖNTGEN.

Ricerche sperimentali di A. BATTELLI *e* A. GARBASSO.

Appena si seppe dai giornali politici della scoperta fatta dal Röntgen di raggi dotati di proprietà particolari, cercammo di ripetere alcune delle esperienze del fisico tedesco. Siamo riusciti, quasi subito, ad ottenere dei buoni risultati.

E ci siamo anche occupati subito di risolvere alcune questioni che ci si presentavano alla mente. Nel frattempo è venuta nel dominio del pubblico e però anche a nostra cognizione la nota originale del Röntgen [1]). Pure non ci sembra inutile di pubblicare quello che si fece da noi. Abbiamo anzitutto parecchie osservazioni che ci sembrano nuove; e abbiamo inoltre prove più sicure o più decisive in favore di alcuni dei resultati del Röntgen.

Finalmente, la nota del Professore di Würzburg tace delle disposizioni pratiche adottate da lui, e delle avvertenze necessarie per ottenere delle buone fotografie. Ora su questo appunto ci furono chieste informazioni ripetutamente e da diverse parti.

***

Nel presente lavoro, e per rispondere al desiderio accennato or ora, diamo anzitutto conto dei nostri primi tentativi e della disposizione che abbiamo adottato da ultimo. Descriviamo quindi alcune delle prove fotografiche ottenute.

Passiamo poi a rendere conto delle nostre ricerche [2]), dirette:

a) Ad escludere l' ipotesi che la luce ordinaria o le radiazioni elettromagnetiche possano entrare per qualche cosa nella produzione dei fenomeni osservati dal Röntgen;

1) C. W. Röntgen. Ueber eine neue Art von Strahlen. (Sitzber. Würzb. Phys. med. Gesell. 1895).

2) I nostri resultati furono annunciati sommariamente da uno di noi in una pubblica conferenza, tenuta il 25 gennaio nell' aula dell' Istituto fisico di Pisa.

b) A constatare quale importanza abbia la fluorescenza dovuta ai raggi catodici per la eccitazione della luce Röntgen;

c) A riconoscere di quale natura sia l' azione dei nuovi raggi sulle lastre fotografiche;

d) A dimostrare con metodi che non lascino adito a dubbi, i risultati del Röntgen relativi ai fenomeni di riflessione e rifrazione;

e) A studiare la trasparenza dei diversi mezzi.

1. *Ricerche preliminari e disposizione sperimentale.* — Noi ci siamo occupati anzitutto di ottenere delle prove fotografiche nette e da principio, per semplificare, abbiamo impiegato come oggetti degli schermi ritagliati in fogli di stagnola. Bisogna naturalmente che la lastra che si impiega sia ben difesa contro la luce. Ora non ci sembra sufficiente di rinvoltarla in qualche foglio di carta nera come fu fatto da alcuni sperimentatori almeno per quello che ne dicono i giornali [1]).

Il modo più sicuro di proteggere la lastra è di tenerla in una di quelle scatole di cartone entro cui le lastre appunto vengono poste in commercio. Per maggiore precauzione si assicura il coperchio con due giri di spago.

Le fotografie che si eseguiscono con il procedimento del Röntgen non sono vere imagini ma ombre degli oggetti. Ombre bensì di natura particolare, come si vedrà meglio nel seguito.

Questa osservazione basta per mostrare che una prima condizione per ottenere delle figure ben chiare è di mantenere l' oggetto che si vuol riprodurre vicinissimo alla lastra.

Per questo noi usiamo porre dentro la scatola che racchiude la lastra una tavoletta di legno, di spessore conveniente, in modo che la lastra, con la pellicola sensibile rivolta all' insù, venga premuta contro il coperchio. E sopra il coperchio poniamo l' oggetto di cui si vuole ottenere l' imagine.

1) È molto probabile che alcuni resultati che fecero un certo rumore in questi ultimi tempi, fossero dovuti appunto al modo imperfetto con che la lastra era difesa. Noi abbiamo tentato di ripetere le esperienze del sig. G. Le Bon (C. R. CXXII, 188, 1896), con una lastra ben riparata dalla luce, e quantunque la posa si prolungasse fino a sei ore, non abbiamo ottenuto la minima traccia d' azione fotografica.

Quanto ai tubi che occorrono per la produzione dei raggi di Röntgen noi ne abbiamo esaminato un grande numero; una ventina e più. Abbiamo trovato che il vuoto deve essere molto spinto, sicchè si producano bene i raggi catodici e si ecciti vigorosamente la fluorescenza del vetro.

Fra i varii apparecchi che erano a nostra disposizione, destinati a ripetere le esperienze del Crookes, foggiati a cilindro, a palla, ad U, a pera, abbiamo riconosciuto che questi ultimi convengono allo scopo meglio di tutti gli altri. Quindi lavoriamo sempre con un tubo periforme, di quelli muniti di una croce di lamina metallica, che servono per provare come i raggi catodici procedano in linea retta.

Naturalmente quando si vogliono ripetere le esperienze del Röntgen la croce si deve tenere abbassata.

Di questi tubi ne impiegammo parecchi, con elettrodi di platino e d'alluminio; non ci siamo accorti che gli uni avessero sopra gli altri un qualche vantaggio.

Il tubo si dispone con l'asse normale alla lastra, e si prende per catodo il dischetto che è fissato all'estremità più sottile.

La distanza fra la base del tubo e la lastra può variare fra dieci e trenta centimetri; deve essere tanto più grande quanto più larga è la lastra e più spesso l'oggetto che si vuol fotografare. Una distanza maggiore esige naturalmente una posa più lunga. La posa varia moltissimo; trattandosi di uno schermo di stagnola e impiegando l'apparecchio del Tesla (come si dirà in appresso) si può ridurre ad un secondo. Se invece si vogliono ottenere i particolari di un oggetto molto spesso e fortemente assorbente, una mano d'uomo o un animale di media grossezza (cavia, coniglio) un'ora di posa è appena sufficiente.

Abbiamo impiegato quasi sempre delle lastre Lumière, in qualche caso soltanto delle lastre cappelli le prime sembrano convenire un po' meglio che le seconde. Di esperimenti fatti con lastre ortocromatiche, con pellicole su celluloide ed autotese si dirà a suo tempo.

La negativa, una volta ottenuta si può conservare nella sua scatola indefinitamente; purchè si tenga lontana da tubi in

cui s' eccitino raggi catodici. La negativa si tratta coi procedimenti ordinari; noi abbiamo sempre impiegato lo sviluppo al ferro. È bene notare che la durata di questa operazione è notevolmente più grande di quella che occorre con lastre impressionate nelle macchine fotografiche; spesso la negativa, troppo debole, sfuma nell' iposolfito.

Il tubo di Crookes si può eccitare in diversi modi; noi abbiamo esaminato successivamente la macchina elettrostatica, il rocchetto di Ruhmkorff ed un altro rocchetto che servì ad uno di noi per ripetere, due anni or sono, alcune delle esperienze del Tesla.

La macchina elettrostatica che impiegammo è una Holtz, con due dischi mobili di 80 cm. di diametro; racchiusa in una cassa di vetro. Con una scintilla in circuito, di un centimetro all' incirca, eccita nei tubi di Crookes una fluorescenza vivace. Si possono fare così delle belle fotografie; però non sembra che vi siano nell' uso della macchina dei vantaggi notevoli.

La poca comodità dell' apparecchio, e l' inconveniente, che ci occorse più volte, della rottura del tubo prodotta da scariche che passano fra gli elettrodi e i conduttori esterni, ci fecero abbandonare l' uso della macchina di Holtz.

Ci è parso bene tuttavia di accennare che pure con questi apparecchi si possono ritrovare i resultati del Röntgen, anche perchè è molto facile trovare in qualunque laboratorio una macchina elettrostatica.

Il nostro rocchetto di Ruhmkorff è di media grandezza, e non è più in ottimo stato; eccitato da una corrente di 7 od 8 Ampères può dare al massimo 10 o 15 cm. di scintilla.

Questo rocchetto ci ha reso degli ottimi servizi; con l' uso un po' prolungato si manifestò però, anche quì, un inconveniente grave. Vogliamo accennare al riscaldamento degli elettrodi, che in qualche caso può andare fino alla fusione. [1])

Il rocchetto ad alta frequenza ed alta tensione sembra che non dia luogo a nessuno degli inconvenienti che si producono con l' uso della macchina e del rocchetto di Ruhmkorff. Di più i raggi catodici si sviluppano ad entrambi gli elettrodi e se

1) A noi si fuse una volta il dischetto di platino che funzionava da catodo.

non ci inganniamo, a parità delle altre condizioni, la fluorescenza del vetro è anche più vivace.

Poichè questi apparecchi non sono ancora molto diffusi ci sembra bene di descrivere il nostro rapidamente.

L'induttore è un' elica di grosso filo di rame (ha 0,3 cm. di diametro), conta 39 spire ed è ravvolto sopra un cilindro di gesso.

Il circuito indotto è ad elica anch'esso, di filo sottile (diametro cm. 0,02), ha 345 spire in un solo strato; lo porta un grosso tubo di vetro.

I due circuiti, uno dentro l' altro, si immergono in un recipiente cilindrico verticale di vetro, e in questo si versa del petrolio bollito per assicurare l' isolamento. Onde eccitare questo apparecchio impieghiamo il Ruhmkorff di cui abbiamo fatto parola più su. Il circuito secondario del Ruhmkorff è in serie col primario del rocchetto di Tesla e con un deflagratore di speciale costruzione. Di più i due estremi dell'indotto del Ruhmkorff comunicano ciascuno con una delle due armature di un condensatore. Questo è costituito nel nostro caso da quattro grosse boccie di Leida.

Il deflagratore è uno spinterometro le cui palline stanno dentro una scatola di legno, a parallelepipedo, molto allungata, come una canna da organo, senza fondo e senza coperchio. Le aste metalliche (orizzontali) che reggono le due palline traversano due pareti opposte della scatola. Questa in basso si prolunga in un cilindro di vetro (un tubo da lampada) dentro il quale si fa arrivare la fiamma oscura di un becco Bunsen. Si stabilisce così una corrente ascendente d' aria calda, che traversa l' intervallo di scarica. Questo agevola di molto la regolarità dell' andamento.

L' apparecchio ora descritto, malgrado le sue piccole dimensioni si presta bene per ripetere le principali esperienze del Tesla. Le nostre ricerche sui raggi del Röntgen furono fatte impiegando alternativamente questo rocchetto ad alta frequenza e il Ruhmkorff.

Modificazioni che il tubo subisce, con l' uso. — Mentre si eseguivano le esperienze ci occorse di osservare un fatto curioso. Sembra che i tubi di Crookes che servono alla pro-

duzione dei raggi catodici man mano che si adoperano e durante qualche ora vadano migliorando. Sicchè, se si fa agire un medesimo tubo durante una giornata, per esempio, si possono ottenere alla sera in pochi secondi le stesse impressioni che al mattino esigevano una posa di qualche minuto.

Per studiare il fenomeno un po' più da vicino esaminammo in particolare il comportamento di due tubi appena giunti dalla fabbrica (dal Müller di Bonn), che quindi non erano mai stati adoperati.

La ricerca procedette così: fissato uno dei tubi ad un sostegno, ed eccitatolo col Ruhmkorff, si prese sopra una lastra l'imagine di un filo metallico a zig zag, con posa di 5 secondi; poi si continuò a fare agire il tubo, impiegandolo ad altre esperienze.

Ma di mezz' ora in mezz' ora si ripeteva la prima prova con lastre e fili in condizioni rigorosamente uguali a quelle prime, e dando sempre la medesima posa. Naturalmente ci assicurammo, con frequenti misure, che la corrente eccitatrice del rocchetto conservava un' intensità costante (6 Ampères e 6 decimi).

Poichè si fu impressionato così, con ciascun tubo, un certo numero di lastre le sviluppammo tutte insieme, per essere ben sicuri che la composizione del bagno e la durata dello sviluppo fossero per tutte le lastre le stesse.

Dallo studio dei due tubi si ricavarono resultati concordanti, che si possono riassumere brevemente nel modo che segue:

a) Da principio l' azione è estremamente debole, sicchè, nelle condizioni delle nostre esperienze le lastre non venivano punto impressionate;

b) Dopo un' ora e mezza o due ore di eccitazione si cominciano ad ottenere delle imagini visibili, e le impressioni diventano man mano sempre migliori;

c) Passate sette od otto ore dal principio dell' esperienze pare che i tubi raggiungano un massimo di attività; dopo comincerebbero a decadere alquanto.

La causa di questi fatti sembra difficile da assegnare. Potrebbe darsi che consistesse in variazioni, che subisce, col tempo, la composizione del gas che è rinchiuso nel tubo.

Si sa che gli elettrodi, di qualunque metallo essi siano, godono della proprietà di assorbire, durante la scarica, in modo differente, i diversi gas.

Appunto valendosi di questa circostanza il Crookes potè liberare dalle ultime traccie d' azoto una massa d' argon che aveva rinchiuso in un tubo di Plücker.

Qualche cosa di questo genere deve avvenire anche nel caso nostro; si nota infatti che da principio, quando l' apparecchio è nuovo, oltre alla macchia verde di fluorescenza, sul vetro, vi è ancora in tutto il tubo una luminosità diffusa, cinerea o debolmente violacea, particolarmente intensa in vicinanza degli elettrodi.

Questa luminosità diminuisce man mano, fino a sparire del tutto; appunto allora l' apparecchio raggiunge la massima attività.

Ora potrebbe essere che, producendosi l' assorbimento, il tubo si accostasse man mano alle condizioni più favorevoli per la produzione dei raggi del Röntgen. Aumentando ancora la rarefazione il fenomeno diminuirebbe di intensità, o perchè il passaggio dell' elettricità è reso più difficile, o per altra ragione [1]).

Descrizione di alcune fra le fotografie ottenute. — Noi ci siamo occupati, piuttosto che di fare delle fotografie, di allargare le ricerche sopra le proprietà e la natura dei raggi del Röntgen; pure, per esercizio e, sopratutto, a scopo di dimostrazione preparammo anche alcune negative di saggio, assai belle. Descriviamo brevemente le più interessanti.

a) Una delle prime cose ottenute fu una mano, la mano di uno di noi. Non spendiamo molte parole intorno a questo oggetto, ormai conosciutissimo. La carne è forse più visibile che nelle fotografie simili di altri sperimentatori, le ossa sono ben marcate, le cartilagini appena si vedono. Quindi le diverse ossa appariscono staccate le une dalle altre. Si rileva un leggero incurvamento in una delle falangi del mignolo. Particolarmente netto e spiccato è rimasto l' anello che il soggetto

1) Il dott. Q. Sestini studia presentemente nel nostro Istituto questa quistione per mezzo dell' analisi spettrale. Egli ha già ottenuto alcuni resultati interessanti, che spera di poter presto pubblicare.

portava al dito anulare; di quest' anello si scorge, in qualche punto anche la faccia interna, al di là dell' osso che così si rivela non completamente opaco.

b) Abbiamo fotografato anche un topo ed una rana; la seconda prova è riuscita assai meglio che la prima. Pure nel topo si scorgono assai bene le ossa degli arti e la colonna vertebrale, e la coda, con tutte le sue vertebre minutissime, è singolarmente bella. La rana offre tutte le particolarità del cranio e dello scheletro; è riprodotta nella figura 1 della tavola.

c) Per renderci conto dell' applicabilità del nuovo metodo fotografico alla ricerca dei proiettili nell' interno dei corpi introducemmo in due coscie di cavia due grossi pallini di piombo. La riproduzione è riuscita perfettamente; ossa e pallini sono di una grande nettezza. Queste sono forse le più belle fra le imagini ottenute da noi. Delle due coscie una conservava la pelle ed il pelo, l' altra era scuoiata; le fotografie non presentano differenze sensibili. Pelle e peli sembrano dunque affatto diafani o quasi.

d) La stessa cosa si verificò in un altro modo, prendendo la fotografia di un portafogli di pelle, ad angoli d' argento, in cui s' erano introdotte alcune monete ed una chiave. Questi oggetti diedero un' ombra molto intensa, e così gli angoli metallici del portafogli; invece la pelle appena si scorge sulla negativa e non si vede punto nelle positive stampate.

e) È riuscita bene anche l' imagine di una scatola di compassi che riproducemmo chiusa. Fanno un singolare effetto i chiodini della scatola proiettati sullo stesso piano dei compassi.

f) Di particolare interesse è ancora un dito umano, affetto da osteomiolite, amputato di questi giorni nella clinica diretta dal prof. Ceci. Si scorge un ingrossamento alla seconda falange e un principio di carie alla terza.

g) La stessa malattia presentava, all'anulare, la mano destra di una bimba decenne, che avemmo la fortuna di fotografare prima dell'operazione; riproduciamo nella figura 4 della tavola tre dita di questa mano.

h) Finalmente tentammo anche con risultato buono la riproduzione di un occhio umano ferito da una scheggia di capsula metallica ed estirpato nella clinica del prof. Manfredi.

Una volta acquistata una certa pratica in queste esperienze si potevano variare le prove all' infinito; non ci è parso che ciò presentasse un sufficiente interesse.

2. *I raggi del Röntgen non sono luce e non sono radiazioni elettro-magnetiche.* — La prima cosa che ci parve necessario di mettere fuor di dubbio fu la mancanza assoluta di azioni attiniche ordinarie nelle esperienze del Röntgen. Se si guarda una sorgente luminosa attraverso ad un foglio di carta bianca si ha ancora una sensazione di luce. E si potrebbe pensare che attraverso ad un cartone filtrasse ancora tanta luce da impressionare con una posa un po' lunga la pellicola sensibile.

Noi abbiamo dunque messo una lastra nella scatola di cui ci siamo poi sempre serviti, e l' abbiamo tenuta per un' ora, verso il mezzogiorno, esposta in pieno ai raggi del sole. Allo sviluppo la lastra si mostrò perfettamente intatta.

Due secondi sarebbero bastati al tubo di Crookes per dare un' impressione sensibile.

È dunque estremamente probabile che i raggi del Röntgen non siano raggi di luce; per lo meno si tratterebbe di onde che mancano affatto nella radiazione solare.

Poteva apparire più ovvio che i raggi del Röntgen fossero raggi di forza elettrica, o almeno qualche cosa di legato coi fenomeni della radiazione elettromagnetica.

In realtà i raggi d' Hertz passano in molti casi dove le onde corte della luce non possono passare; e la massima parte delle sostanze trasparenti per i raggi del Röntgen sono pure diafane per la radiazione elettromagnetica, benchè in grado diverso. Per escludere ogni dubbio si prese una lastra, difesa nel modo consueto, e la si tenne davanti ad un eccitatore del Righi che si faceva funzionare con una macchina di Wimshurst.

La pellicola sensibile riusciva in un piano verticale, perpendicolare alla direzione dei raggi.

Fra l' eccitatore e la lastra vi era una distanza di pochi centimetri. Le esperienze furono tre; la durata della posa fu di un' ora nel primo caso, poi di due e da ultimo di tre. Ma il risultato fu sempre negativo.

La disposizione sperimentale descritta ora si presta ad un'ob-

biezione, che si presentò subito al nostro spirito. Si può pensare che i raggi d' Hertz si riflettano sulla tavoletta di legno che regge la lastra sensibile; si produrrebbe così un' onda stazionaria e la lastra verrebbe a trovarsi in un nodo. E così sarebbe annullata una possibile azione.

Si può girare la difficoltà ponendo la lastra in un piano che contenga la direzione di propagazione.

Converrà poi di accostare alla lastra sensibile una lamina metallica piana normale ai raggi, in modo che nascano delle onde stazionarie ben nette.

Se le pellicole sono impressionate dalle onde elettriche i nodi e i ventri appariranno, sulla negativa, come rette parallele, alternativamente chiare ed oscure.

Abbiamo fatto anche quest'altra prova, dando una posa di tre ore. E il risultato fu ancora lo stesso, cioè la lastra rimase intatta, come per lo innanzi.

Concludendo: i raggi elettromagnetici a breve periodo, dati dall' apparecchio del Righi, non sono capaci di produrre gli effetti della radiazione di Röntgen. Questa deve essere dunque qualche cosa di completamente diverso da quelli.

3. *I raggi del Röntgen si sviluppano per l' azione dei raggi catodici insieme alla luce di fluorescenza.* — Il Röntgen accenna nel suo lavoro *(pag. 10, dell' estratto)* ad esperienze fatte con lo scopo di provare che i raggi X partono dalla macchia fluorescente che la radiazione catodica eccita sul vetro.

Abbiamo noi pure eseguito alcune ricerche su questo argomento. Da principio ponevamo due lastre, alla stessa distanza dal tubo, ma l' una davanti alla base (alla macchia fluorescente), l' altra di fianco e davamo ad entrambe la medesima posa. Si trovò sempre che la prima lastra era fortemente impressionata, la seconda poco o punto.

Ma abbiamo voluto provare la stessa cosa con un' esperienza decisiva, esperienza che, ad un tempo, dimostra come i raggi del Röntgen si possano sviluppare anche per l' azione della radiazione catodica sopra sostanze diverse dal vetro.

Per questo si prese un tubo cilindrico nel quale, a scopo di dimostrazione era stato rinchiuso un blocco fluorescente [1]).

I raggi catodici eccitano in questa sostanza una vivacissima fluorescenza verde erba, ben diversa dalla luce verde pomo che emette nelle stesse condizioni il vetro dei nostri tubi.

Per una fortunata combinazione il blocco fluorescente è spaccato in modo che la luce di fluorescenza riesce meglio visibile di fianco che di fronte; in una direzione cioè normale all' incirca a quella in cui si propagano i raggi catodici.

Davanti dunque a questa macchia fluorescente si pose una lastra nel solito modo, e si ottenne un' ottima impressione. Noi ci proponiamo di ripetere quest' esperienza con altri corpi, che diano per fluorescenza luci di diverso colore, ma intanto ci sembra che la connessione tra fluorescenza e raggi del Röntgen sia sufficientemente provata.

Connessione abbiamo detto, e non dipendenza, come a qualcuno è parso di poter affermare; infatti se i raggi del Röntgen fossero veramente *prodotti* dalla fluorescenza si dovrebbero rinvenire sempre quando si ha produzione di luce fluorescente.

Ora questo non è.

Noi abbiamo eccitato con la luce dell' arco voltaico, la fluorescenza in parecchie sostanze: vetro d' uranio, soluzioni di uranina e di aurina, vapori di fenantrene e d' antracene; ma non ci avvenne mai di constatare che il fenomeno fosse accompagnato dalla produzione di raggi del Röntgen.

Lo stesso risultato negativo si incontrerà probabilmente quando si esamini il comportamento di mezzi torbidi, che diffondano la luce. Ma su questo argomento ci riserviamo di tornare un' altra volta.

4. *Fenomeni di fluorescenza e fosforescenza. Azione fotografica dei raggi del Röntgen.* — Una volta che si è riconosciuto che i raggi del Röntgen non hanno nulla di comune con la luce ordinaria riesce anche più difficile comprendere come essi possano impressionare le lastre fotografiche. Per vero, l'azione attinica, variando di intensità con la lunghezza d'onda del raggio che la esercita, non può essere che un fe-

1) Probabilmente un minerale d' uranio.

nomeno di risonanza. E dovrebbe mancare quando mancano raggi di periodo conveniente.

Vi è però modo di ovviare a questa difficoltà, imaginando che i raggi del Röntgen eccitino per fluorescenza della luce ordinaria. Questa impressionerebbe la lastra fotografica.

Il Röntgen stesso accenna alla possibilità di una simile spiegazione *(Nota citata, pagina 6 dell'estratto)*.

Si sa, e fu questa la prima osservazione che occorse di fare al professore di Würzburg, che i raggi del Röntgen godono della proprietà di rendere fluorescenti certe sostanze, particolarmente il platinocianuro di bario.

L'esperienza è un po' più difficile da ripetere di quelle con le lastre sensibili; è necessario che il platinocianuro sia ben puro e che il tubo di Crookes sia fortemente eccitato. I tubi a pera possono servire benissimo allo scopo.

Gli schermi fluorescenti si preparano umettando con gomma un cartoncino e facendovi cadere sopra il platinocianuro polverizzato, per mezzo di uno staccio.

Per osservare il fenomeno si può impiegare una camera oscura, p. e. una macchina fotografica a cui si siano tolti l'obbiettivo e lo chassis. Si pone lo schermo dietro il coperchio dell'obbiettivo, col cianuro rivolto in dentro e si tiene la testa al posto dello chassis, avvolgendola dentro un drappo nero, come s'usa fare per mettere a foco.

Davanti alla macchina poi, a pochi centimetri di distanza, si pone il tubo di Crookes.

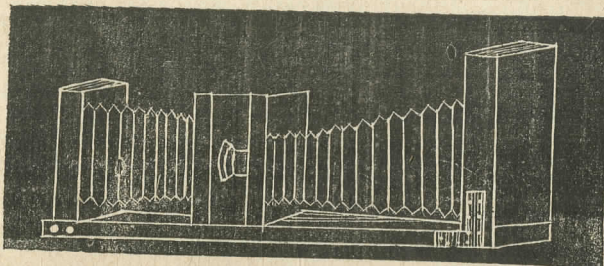
In condizioni buone la fluorescenza è assai vivace, e si possono osservare bene sullo schermo al platinocianuro le ombre di oggetti fortemente assorbenti, che siano interposti fra lo schermo stesso e il tubo di Crookes [1]).

Queste ombre anzi si possono fotografare, con una macchina ordinaria; così si ottengono di oggetti invisibili imagini di dimensioni ridotte o ingrandite, a piacere.

Noi abbiamo costruito un apparecchio, assai semplice, col quale si possono fare facilmente queste fotografie.

1) Su questo principio il prof. E. Salvioni ha costruito un'apparecchio molto semplice ma molto interessante, che egli chiama *criptoscopio*.

La figura quì intercalata lo rappresenta in dimensioni molto ridotte.

Non è necessario spendere molte parole per descrivere questa disposizione. Davanti ad una comune macchina fotografica

fu posta una camera oscura molto allungata, in fondo alla quale si teneva lo schermo fluorescente; dietro questa seconda camera era l'oggetto da fotografare, poi il tubo di Crookes.

Basta una posa relativamente breve, ma conviene impiegare delle lastre ortocromatiche rapidissime e uno sviluppo speciale: tuttavia le immagini riescono assai deboli.

Oltre al platinocianuro di bario parecchie altre sostanze danno lo stesso fenomeno di fluorescenza coi raggi del Röntgen. Per esempio si preparano degli ottimi schermi impiegando solfuro di bario con anidride antimoniosa, anidride antimoniosa con solfuro di calcio, e solfuro di calcio.

Le prime due sostanze servono anche meglio del cianuro di bario.

Come si diceva più su è probabile che l'azione fotografica dei raggi del Röntgen sia un'azione secondaria, dovuta a luce prodotta per fluorescenza. Quando avremo delle lastre abbastanza sensibili noi ci proponiamo di ripetere l'esperienza di fotografia indiretta descritta poco fa ponendo, in luogo dello schermo fluorescente, una lastra fotografica. Tenteremo dunque di fare la fotografia della fotografia in formazione.

Per intanto ci siamo accontentati di studiare il fenomeno indirettamente. Nella ipotesi adottata per spiegare i fatti si capisce subito che la negativa deve essere in qualche modo influenzata dai corpi che stanno in immediato contatto con la lastra

Ci siamo assicurati che avviene realmente così. A quest' uopo si provò a paragonare il grado di impressionabilità delle lastre Lumière, delle pellicole su celluloide e delle pellicole autotese. Si tagliava un pezzetto di lastra e due pezzetti di ciascuna delle pellicole, e si ponevano nella solita scatola, tutti insieme, interponendo ancora fra gli strati sensibili e la tavoletta contenuta nella scatola un foglio di carta nera.

Si ripetè quest'esperienza parecchie volte, e i risultati furono sempre perfettamente concordanti, si trovò cioè che la pellicola autotesa si impressionava tanto bene come la lastra Lumière, invece la pellicola sul celluloide riesce poco o punto impressionata.

Vuol dire che la fluorescenza, se fluorescenza vi è, ha sua sede principalmente nello strato sensibile, ma può essere modificata dalla natura del corpo su cui la pellicola riposa.

Più semplicemente si può riconoscere quest'azione modificatrice ponendo dietro la pellicola diverse sostanze.

Si può p. e. mettere sotto lo strato sensibile un dischetto, oppure un disegno qualunque ritagliato in carta preparata al platinocianuro di bario.

Sottoponendo all'azione del tubo di Crookes, per pochi secondi, e sviluppando si trova la pellicola fortemente impressionata nei punti che riposavano sulla carta fluorescente, meno negli altri.

Questa esperienza indica una via per rendere più sensibili i preparati fotografici all'azione dei raggi del Röntgen, e quindi una via per abbreviare la posa.

5. *Fenomeni di riflessione e refrazione.* — Le proprietà di cui godono i raggi del Röntgen relativamente ai fenomeni di riflessione e refrazione sono tra i fatti più interessanti che il Prof. di Würzburg descrive nella sua Nota preliminare.

Il Röntgen ha mostrato, con un' esperienza indiretta, che i raggi trovati da lui si riflettono, benchè debolmente; ma non gli è riuscito di rifrangerli.

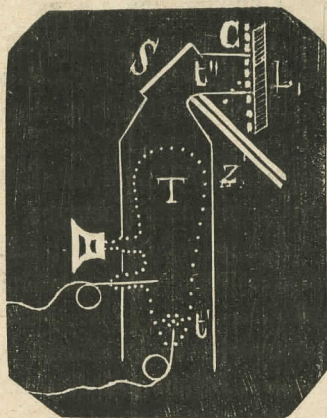
Le nostre esperienze, eseguite con metodi diretti, e che non lasciano adito a dubbi, confermano l' esistenza della riflessione e l'assenza della refrazione. Quanto alla prima si fe-

cero diversi tentativi, avanti che si giungesse ad ideare l' apparecchio col quale furono eseguite le esperienze definitive.

Da prima si procedette in questo modo: si prese un grande specchio sferico concavo di vetro, e per mezzo di esso si proiettò sopra la scatola, che racchiudeva la lastra sensibile, un' imagine reale del tubo di Crookes.

Sebbene la posa durasse a lungo (fino ad un' ora e mezza) non si ebbe allo sviluppo nessun indizio che la lastra fosse impressionata. Allora tentammo un dispositivo assai più semplice, valendoci di uno specchio piano, metallico; in questo modo si ottennero dei risultati assai migliori.

L' apparecchio subì nel corso delle esperienze alcune modificazioni; la figura quì appresso lo rappresenta nella sua forma definitiva.

t' è un tubo cilindrico di grossa lamina di zinco, ha una lunghezza di 25 cm. e un diametro di 13; all' estremità di t' il tubo è strozzato e ripiegato a gomito. Il ramo t'', il cui asse riesce all' incirca normale a quello di t', ha appena 5 cm. di lunghezza e 5 di diametro. Nel gomito la parete S è piana ed inclinata di uno stesso angolo sugli assi di t' e t''. All' imboccatura di t'' poi è saldata una croce di fil di rame, C, i cui rami sporgono alquanto all' infuori. Il ramo verticale è rettilineo, l' orizzontale è piegato a zig zag. Contro la croce si appoggia la scatola di cartone che contiene la lastra, L. E in t' si pone il tubo di Crookes, T.

Per maggiore sicurezza e per escludere affatto la possibilità di un' azione diretta del tubo sopra la lastra ponemmo ancora fra t' e t'' uno schermo formato da due grosse lastre di zinco (Z nella figura). Con questo apparecchio si fecero parecchie esperienze; i risultati sono bene concordanti fra loro.

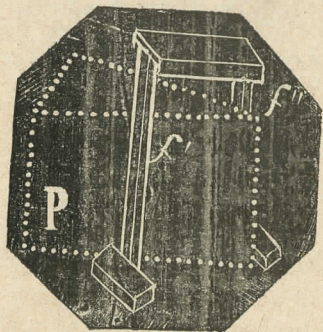
Se la posa è sufficientemente lunga (un' ora o un' ora e mezza) la lastra si trova impressionata, ma solamente sopra un disco, che corrisponde appunto all' apertura del tubo t''. In questo disco si vedono bene i due rami della croce metallica; invece la porzione della croce che sporge all' infuori non ha mai dato ombra alcuna. Poichè i raggi del Röntgen si propagano rettilineamente, l'azione che si constata qui non può essere diretta; S agisce dunque come uno specchio. La fig. 2 della tavola riproduce una negativa ottenuta appunto per riflessione.

Per maggiore sicurezza si ripetè l' esperienza, dopo di avere tolta via la lamina S; non s' ebbe, come si poteva prevedere, nessuna traccia di impressione sopra la lastra sensibile.

Nell' apparecchio descritto or ora, e rappresentato sulla figura, lo specchio era piano e disposto in modo che l' angolo d' incidenza e l' angolo di riflessione fossero uguali; l' aver ottenuto però in queste condizioni degli indizi sicuri di impressionamento della lastra non prova ancora che i raggi del Röntgen si riflettano regolarmente. In realtà noi provammo a modificare l' apparecchio, sostituendo in S alla lastra metallica piana una lastra ondulata, e anche allora ci riuscì di riscontrare un' azione fotografica.

Concludendo: i raggi del Röntgen si riflettono bensì, ma per diffusione piuttosto che per vera riflessione speculare.

Quanto alla refrazione noi l' abbiamo studiata nel modo più semplice, per mezzo di un prisma. La figura qui intercalata mostra come fosse disposta l'esperienza.

P è il prisma, a sezione triangolare isoscele; le due faccie laterali uguali di esso sono quadrati di 15 cm. di diametro, l' angolo al vertice della base misura 28 gradi all' incirca.

Da una parte e dall' altra del prisma disponemmo due lamine di ferro assai spesse, unite rigidamente fra loro. Ognuna delle lamine era lunga 25 cm. e larga 5 e recava nel mezzo una fenditura rettilinea di 0,5 millimetri (f' e f'' nella figura). Davanti ad f' si poneva il tubo di Crookes e dietro ad f'' la sca-

tola con la lastra fotografica. Il tubo aveva l' asse orizzontale, la lastra stava in un piano normale all' asse stesso, avendo i lati più lunghi verticali. Tubo e lastra erano fissati ad una tale altezza che il piano della base superiore del prisma contenesse l' asse del tubo e la congiungente i punti medi dei lati verticali della lastra.

È chiaro che, disposte le cose in questo modo, se non vi è refrazione deve apparire sulla negativa sviluppata un' unica linea nera; se la refrazione invece è sensibile una metà della linea apparirà spostata rispetto all' altra o mancherà affatto.

Abbiamo fatto le esperienze dapprima con un prisma massiccio di legno d' abete, poi con un prisma cavo, le cui pareti erano assicelle, pure d' abete, e che si poteva riempire con diversi liquidi (acqua, alcole, olio e petrolio).

Si ebbe sempre il medesimo risultato; l' imagine della fenditura rimase cioè rigorosamente rettilinea.

La figura 3, nella tavola, rappresenta una delle prove fatte col prisma cavo riempito di acqua.

Concludiamo dalle esperienze descritte che, almeno per le sostanze studiate, e cioè per il legno d' abete, l' acqua, l' alcole, l' olio ed il petrolio la velocità di propagazione dei raggi del Röntgen è la stessa che nell' aria.

6. *Trasparenza dei varii mezzi.* — Una delle cose più importanti da studiare sull' argomento, sia per scopo teorico che per scopo pratico, era certamente il grado di trasparenza dei diversi mezzi. Si comprende subito, per es., che disponendo di una *scala delle trasparenze*, si potrà regolare la posa di un corpo eterogeneo per modo da ritrarre quelle parti più opache di esso che si vorranno.

Noi abbiamo limitato il nostro studio alle sostanze solide e liquide più comuni; dividendo i corpi da studiare in tanti gruppi, onde poter eseguire esperienze contemporanee sui componenti di ciascun gruppo.

Il metodo da noi adottato è una specie di *metodo fotometrico;* i 4 o 5 corpi solidi spettanti a un dato gruppo, venivano tagliati in strati di spessore perfettamente uguali, ma di forma diversa, e venivano disposti simmetricamente sul

coperchio della scatola che conteneva la lastra fotografica. Dopo avere impressionata la lastra e fattone lo sviluppo, la si lavava accuratamente con acqua e con alcool, per evitare su di essa qualunque deposito; e infine la si disponeva come schermo in un apparecchio fotometrico. Questo era costituito da un largo imbuto di zinco lungo 60 cm. diviso in due corridoi longitudinali. Davanti alla bocca più larga del primo corridoio era collocata una lampada elettrica fissa, e davanti alla bocca del secondo un' altra lampada elettrica scorrevole lungo un corsoio graduato. La corrente che alimentava le due lampade era fornita da una pila di accumulatori, e quindi si manteneva costante durante la serie di esperienze spettanti a un dato gruppo: ma per maggior precauzione le due lampade uguali erano congiunte ai medesimi poli mediante reofori di uguale resistenza.

Davanti alle imboccature opposte dei due corridoi era fissata una tavoletta di legno, su cui erano praticate due finestre uguali, poste in corrispondenza dei due corridoi medesimi, e coperte con un foglio di carta velina. Sui due rettangoli di carta illuminata venivano appoggiate due immagini negative, di cui l' una serviva di campione e l' altra era da studiare: la lampada mobile veniva portata in tal posizione da vedere le due immagini ugualmente illuminate.

L' apparecchio funzionava molto bene. Bastava un piccolo spostamento della seconda lampada per avere un sensibile mutamento nell' illuminazione della corrispondente immagine fotografica. Tutte le immagini di un gruppo, che si trovavano sulla medesima lastra, venivano confrontate collo stesso campione: cosicchè si poteva prendere come rapporto dei gradi di trasparenza delle varie immagini il rapporto dei quadrati delle distanze della lampada mobile dal rispettivo foglio di carta velina, e quindi questo stesso rapporto — pel modo su descritto in cui venivano prese le immagini e trattate le lastre — poteva ritenersi uguale al rapporto dei gradi di opacità delle sostanze collocate sul coperchio della lastra.

Le sostanze di un gruppo venivano poi confrontate con quelle di un altro gruppo, facendo far parte di ambedue i gruppi a un medesimo corpo.

I gruppi furono distribuiti in modo da poter passare per scala dai corpi i più trasparenti ai più opachi.

Per lo studio dei liquidi, questi venivano collocati per gruppi in tre vasetti di vetro dal fondo sottilissimo (0, 5 mm), e piano: e vi si facevano arrivare all' altezza di circa 3 centimetri. I vasetti venivano poi disposti nel solito modo sul coperchio delle scatole di cartone.

Il confronto tra solidi e liquidi si fece paragonando le immagini spettanti a un vasetto contenente acqua e ad un vasetto contenente un blocco di legno di spessore uguale all'altezza del liquido.

Nella tavola seguente sono riferiti i risultati delle misure: i corpi sono disposti in ordine della loro trasparenza, e sono riferiti all'acqua, il cui grado di trasparenza fu preso uguale ad 1.

A lato dei numeri che ci indicano la trasparenza, si trovano i valori delle densità delle varie sostanze; valori che vennero direttamente determinati, per avere un confronto più sicuro.

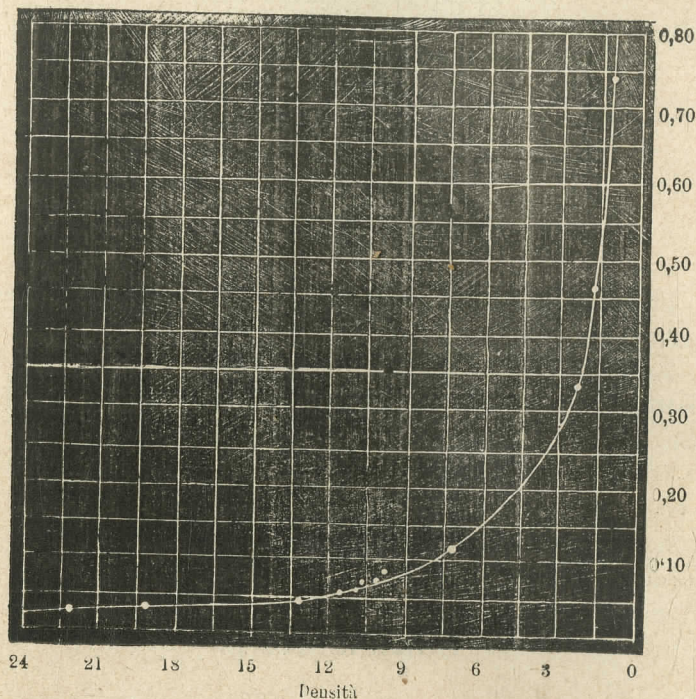
SOLIDI.

SOSTANZE	Grado di trasp.	Densità	SOSTANZE	Grado di trasp.	Densità
Sughero.	4,30	0,24	Colla da falegname.	0,48	1,90
Legno d' abete.	2,21	0,48	Solfo.	0,47	1,90
Legno di noce.	1,50	0,68	Avorio.	0,46	1,92
Paraffina.	1,12	0,90	Gesso.	0,40	2,32
Gomma elastica.	1,10	0,92	Alluminio.	0,38	2,65
Cera.	1,10	0,97	Steatite.	0,35	2,70
Stearina.	0,94	1,06	Vetro.	0,34	2,70
Carbone di legno dolce	0,90	1,16	Carbonato di calce.	0,33	2,72
Cartone di amianto.	0,80	1,20	Antimonio.	0,126	6,71
Ebanite.	0,80	1,20	Stagnola.	0,118	7,16
Cartone ordinario.	0,80	1,24	Zinco.	0,116	7,21
Corno di bue.	0,80	1,30	Stagno puro.	0,112	7,30
Panno di lana bianco	0,76	1,30	Ferro.	0,101	7,86
» » nero.	0,76	1,30	Nickel.	0,095	8,28
Celluloide.	0,76	1,32	Ottone.	0,093	8,40
Osso di balena.	0,74	1,36	Cadmio.	0,090	8,54
Panno di seta.	0,74	1,40	Rame.	0,084	8,90
» cotone.	0,70	1,48	Bismuto.	0,075	9,82
Carbone di legno duro	0,63	1,50	Argento puro	0,070	10,53
Amido.	0,63	1,52	Argento lega ($^{800}/_{1000}$)	0,063	11,08
Zucchero.	0,60	1,59	Piombo.	0,055	11,35
Osso bianco.	0,56	1,65	Palladio.	0,053	11,40
Magnesio.	0,50	1,87	Mercurio.	0,044	13,60
Carbone coke.	0,48	1,80	Oro.	0,030	19,32
Carbone di storta.	0,48	1,90	Platino.	0,0205	22,50

LIQUIDI.

SOSTANZE	Grado di trasp.	Densità	SOSTANZE	Grado di trasp.	Densità
Etere solforico.	1,37	0,73	Acido cloridrico.	0,86	1,16
Petrolio.	1,28	0,80	Glicerina.	0,76	1,26
Alcool etilico.	1,22	0,81	Solfuro di carbonio.	0,74	1,29
Alcool amilico.	1,20	0,82	Acido nitrico.	0,70	1,37
Olio d'oliva	1,12	0,88	Cloroformio.	0,60	1,52
Benzina	1,00	0,99	Acido solforico.	0,50	1,84
Acqua.	1,00	1,00			

Coi numeri scritti in questa tabella è stata costruita la curva che riportiamo quì sotto, prendendo come ascisse le densità e come ordinate i valori del grado di trasparenza.

La tabella e la curva ci dicono che la trasparenza aumenta quando la densità diminuisce; ma che le variazioni della prima

sono più rapide di quelle della seconda. La cosa era stata intraveduta dal Röntgen: le nostre esperienze la dimostrano in modo evidente, indicando che le dette variazioni si scostano sempre più l'una dall'altra man mano che aumenta la densità. Le esperienze stesse provano che a parità di densità i liquidi sono leggermente più trasparenti dei solidi.

7. *Influenza dello spessore.* — Studiammo in seguito quale influenza avesse lo spessore delle sostanze sulla loro opacità ai raggi di Röntgen. Sottoponemmo a cimento il legno ed il vetro. Su d'una medesima scatola racchiudente una lamina fotografica, disponemmo 4 strati dello spessore rispettivamente di 1, 2, 3, 4 millim. nel caso del vetro, e di 1 cm., 1,5 cm. 3 cm., 4 cm., nel caso del legno. — Facemmo poi tra

le immagini il confronto fotometrico sopra descritto.

Ecco i risultati spettanti al vetro:

Spessore	Grado di traspar.
1m.	1
2	1,7
3	2,2
4	3,1

La tabellina dimostra che nel vetro l' opacità aumenta meno rapidamente che lo spessore.

La stessa cosa si verifica nel legno, nel quale anzi la diversità di trasparenza fra gli strati di spessore di 3 cm. e di 4 cm. è quasi insensibile.

Il variare dell' assorbimento con lo spessore spiega come le imagini ottenute col procedimento del Röntgen, sebbene in sostanza siano ombre, possano dare tuttavia una qualche impressione di rilievo.

CONCLUSIONE.

Non stiamo a riassumere i singoli risultati delle nostre esperienze. Esporremo soltanto l' opinione che ci siamo formata intorno alla natura del fenomeno, deducendola dall' insieme delle cose osservate, e specialmente dal fatto che i raggi di Röntgen si riflettono e non si rifrangono. Che cioè, non si tratti di ondulazioni, di qualunque specie esse siano, ma piuttosto di proiezione di sostanza esilissima capace di attraversare gli spazi intermolecolari dei corpi.

Laboratorio dell' Istituto di fisica dell' Università di Pisa, gennaio 1896.

1

2

4

3

Roma Fototipia Danesi